

**Katedra:** Katedra aplikované matematiky  
**Studijní program:** Specializace v pedagogice  
**Studijní obor:** Matematika se zaměřením na vzdělávání,  
Geografie se zaměřením na vzdělávání

FREKVENČNÍ ANALÝZA KRÁTKODOBÝCH  
ÚHRNŮ ATMOSFERICKÝCH SRÁŽEK  
FREQUENCY ANALYSIS OF SHORT-TERM  
PRECIPITATION AMOUNTS

**Bakalářská práce:** 12-FP-KAP- 003

**Autor:**  
Václav BENDL

**Podpis:**

\_\_\_\_\_

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Jan Pícek, CSc

**Konzultant:** RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.

**Počet**

stran	grafů	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
56	6	1	18	18	0

V Liberci dne: 20.4.2012

## Čestné prohlášení

**Název práce:** Frekvenční analýza krátkodobých úhrnů atmosferických srážek  
**Jméno a příjmení autora:** Václav Bendl  
**Osobní číslo:** P09001134

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že má bakalářská práce je ve smyslu autorského zákona výhradně mým autorským dílem.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Prohlašuji, že jsem do informačního systému STAG vložil/a elektronickou verzi mé bakalářské práce, která je identická s tištěnou verzí předkládanou k obhajobě a uvedl/a jsem všechny systémem požadované informace pravdivě.

V Liberci dne: 20.4. 2012

---

Václav Bendl

## ***Anotace***

Případy vysokých srážkových úhrnů mají velké negativní dopady na ekosystémy i lidskou společnost; příkladem může být série povodní v důsledku krátkodobých přívalových srážek, která postihla různé oblasti ČR na přelomu června a července 2009, nebo povodně na Liberecku v srpnu 2010. Pro potřeby hydrologického modelování i návazných aplikací jsou důležité odhady pravděpodobnostních rozdělení srážkových extrémů a návrhové hodnoty (odpovídající např. dvacetileté periodě opakování). Dosud se u nás věnovala pozornost především modelování pravděpodobností denních a vícedenních srážkových úhrnů; možnosti studia rozdělení krátkodobých srážkových extrémů byly omezeny nedostatkem dat. I navzdory kratším časovým řadám je však třeba tuto mezeru začít zacelovat. Práce je příspěvkem ke studiu klimatických extrémů a pravděpodobností jejich opakování.

Klíčová slova: extrémní srážky, frekvenční analýza, rozdělení extrémních hodnot

## ***Annotation***

Cases of high precipitation have large negative impacts on ecosystems and human society. Example might be the series of floods due to torrential short-term rainfalls, affecting different areas of the Czech Republic in late June and July 2009, or floods in Liberec region in August 2010. Estimates of the probabilistic rainfall extremes distribution and design values (corresponding to eg. 20-year recurrence period) are important for the purposes of hydrological modeling and follow-up applications. So far, attention has been paid especially to probability modeling of one-day and multi-day precipitation; the possibilities of studying the distribution of short-term precipitation extremes have been limited by the lack of data. Despite the shorter time series it is necessary to start filling up this gap. This thesis is a contribution to the study of climatic extremes and the likelihood of their recurrence.

Key words: extreme precipitation, frequency analysis, generalized extreme value distribution

# Obsah

## Seznam použitých zkratk a symbolů

1 Úvod.....	9
2 Statistické zpracování dat.....	10
2.1 Náhodná veličina.....	10
2.2 Bodový odhad.....	11
2.3 Metoda maximální věrohodnosti.....	13
2.4 L-momentová metoda.....	13
2.5 Zobecněné rozdělení extrémálních hodnot.....	14
3 Fyzicko-geografická charakteristika ČR.....	15
3.1 Poloha.....	15
3.2 Přírodní poměry.....	16
3.3 Klima v České republice.....	17
4 Srážky.....	18
4.1 Rozložení srážek během roku.....	29
4.2 Druhy srážek.....	20
5 Historie meteorologického měření na území ČR.....	22
5.1 Způsoby měření srážek na území ČR.....	25
6 Kontrola dat.....	26
7 Výpočty odhadů rozdělení srážkových extrémů .....	32
7.1 Interpretace výsledků.....	39
7.2 Interpretace výsledků pro rok 2010 na stanici Liberec.....	46
7.3 Srovnání výsledků s dostupnou literaturou.....	53
8 Závěr.....	54
Seznam použitých zdrojů.....	55

## ***Seznam obrázků, tabulek a grafů***

Mapa 1: Mapa umístění vybraných stanic na území ČR, s využitím podkladové mapy krajů ČR a softwaru pro tvorbu map dostupného na geoportálu <http://geoportal.gov.cz>

Tab. 1: Maximální úhrny srážek, stanice Liberec, v [mm]

Tab. 2: Maximální úhrny srážek, stanice Lysá hora, v [mm]

Tab. 3: Maximální úhrny srážek, stanice Praha-Ruzyně, v [mm]

Tab. 4: Vypočítané parametry a kvantily L-momentovou metodou, stanice Liberec

Tab. 5: Vypočítané parametry a kvantily metodou maximální věrohodnosti, stanice Liberec

Tab. 6: Vypočítané parametry a kvantily L-momentovou metodou, stanice Lysá hora

Tab. 7: Vypočítané parametry a kvantily metodou maximální věrohodnosti, stanice Lysá hora

Tab. 8: Vypočítané parametry a kvantily L-momentovou metodou, stanice Praha-Ruzyně

Tab. 9: Vypočítané parametry a kvantily metodou maximální věrohodnosti, stanice Praha-Ruzyně

Tab.10: Odhady parametrů pro stanici Liberec, L-momentová metoda

Tab. 11: Odhady parametrů pro stanici Liberec, Metoda maximální věrohodnosti

Tab. 12: Vysoké kvantily pro stanici Liberec, L-momentová metoda

Tab. 13: Vysoké kvantily pro stanici Liberec, Metoda maximální věrohodnosti

Tab. 14: Určení kvantilů u maximálních srážek, stanice Liberec

Tab. 15: Určení kvantilů u maximálních srážek, stanice Lysá hora

Tab. 16: Určení kvantilů u maximálních srážek, stanice Praha-Ruzyně

Tab. 17: Hodnoty parametrů a vybraných kvantilů stanice Liberec pro data bez roku 2010 vypočítaných L-momentovou metodou

Tab. 18: Hodnoty parametrů a vybraných kvantilů stanice Liberec pro data bez roku 2010 vypočítaných metodou maximální věrohodnosti

Graf 1: Vliv velikosti parametru tvaru na množství úhrnů, Liberec, interval 18H.

Graf 2: Vliv velikosti parametru tvaru na množství úhrnů, Liberec, interval 6H.

Graf 3: Srovnání hodnot parametru tvaru pro data získaná L-momentovou metodou

Graf 4: Srovnání hodnot parametru tvaru pro data získaná metodou maximální věrohodnosti

Graf 5: Srovnání velikosti úhrnu srážek pro interval návratnosti 20 let pro data bez roku 2010 a s rokem 2010, metoda L-momentů

Graf 6: Srovnání velikosti úhrnu srážek pro interval návratnosti 20 let pro data bez roku 2010 a s rokem 2010, metoda maximální věrohodnosti.

### ***Seznam použitých zkratek a symbolů***

ČR	Česká republika
GEV	zobecněné rozdělení extrémálních hodnot
SÚH	Státní ústav hydrologický
SÚM	Státní ústav meteorologický
$nH$	$n$ -hodinový úhrn srážek
$nD$	$n$ -denní úhrn srážek
$\omega$	elementární jevy
$\Omega$	prostor elementárních jevů
$X$	náhodná veličina
$Q$	rozdělení náhodné veličiny
$T$	odhadovaná charakteristika
$T_n$	bodový odhadu neznámého parametru
$P(X)$	pravděpodobnost jevu
$E(X)$	střední hodnota
$a$	parametr měřítka
$b$	parametr polohy
$k$	parametr tvaru
$l$	počet skupin
M	maximum



## 1 Úvod

S analýzou extrémních hodnot se setkáváme v mnoha oblastech lidských činností, ač si to sami často neuvědomujeme. Nemusí pro nás však mít pouze informativní charakter, ale mnohdy zasahuje přímo do našich životů. Extrémní spád srážkových úhrnů na území České republiky v letech 1997, 2002 a zatím naposledy v roce 2010 ovlivnil život značné části obyvatelstva zasažených oblastí a způsobil nemalé škody na zdraví i materiálním vlastnictví. V této době, ať v médiích či mezi širokou veřejností, se vždy skoňovaly výrazy, že se setkáváme s takzvaně "stoletou vodou" nebo "padesátiletými srážkami". Málokdo si však uvědomuje, že tyto informace mají co do činění s analýzou extrémních hodnot. Jedná se totiž o odhady  $n$ -leté úrovně nějaké veličiny (v uvedených příkladech by to mohl být průtok řeky a úhrn srážek), která vyjadřuje, po kolika letech se daný jev bude v průměru znovu opakovat. Z pohledu statistiky se jedná o určení kvantilu náhodné veličiny. Toto je jeden z cílů práce. Nejprve se však zaměřím na popis metod, jak se k těmto kvantilům můžeme dostat. Po nastudování příslušné literatury osvětlím teorii statistického zpracování dat. Dále vysvětlím, jaký vliv má klima České republiky na množství srážek, a seznámím s historií a způsoby měření. U dat, jež budu mít k dispozici, dále provedu kontrolu. Zaměřím se na vyhledávání hned několika druhů možných chyb, u kterých vysvětlím, jak a proč mohly nastat. Hlavním cílem této práce však bude odhad rozdělení krátkodobých extrémních úhrnů na datech tří vybraných meteorologických stanic a určení vysokých kvantilů. Tyto výpočty provedu za pomoci statistického softwaru R a balíčků s náležitými funkcemi. Podstatná však bude interpretace výsledků, ke které použiju několik vhodných sdělovacích formátů, jako například tabulek a grafů. Dále se zaměřím na výjimečné roky z pohledu extrémálních srážek, ve kterých, jak už jsem výše popsal, nastaly na našem území povodně.

Především se zaměřím na rok 2010 na stanici Liberec, kdy krátkodobé úhrny měly ničivé následky. Pokusím se určit, jaký  $n$ -letý extrém tento rok nastal a jaký vliv měl na změnu parametrů rozdělení. Dále budu prezentovat podrobně zbylé výsledky formou přehledných tabulek, u kterých čtenář nalezne vypočítaná data ke všem stanicím pro všechny měřené intervaly.

## **2 Statistické zpracování dat**

### **2.1 Náhodná veličina**

Nejprve je třeba si uvědomit, že všechna data, která budou nadále zpracovávána a vyhodnocována a která byla získána jako výsledky pravidelných měření na vybraných stanicích, prakticky představují náhodnou veličinu.

Náhodná veličina představuje veličinu, která mění své hodnoty v závislosti na náhodě.

Dále je třeba se přiklonit k tvrzení, že data extrémních srážek představují náhodnou veličinu spojitou. To znamená, že výsledky měření mohou nabývat jakékoli hodnoty z reálného intervalu a ne pouze hodnoty z konečné a spočitatelné množiny, jak tomu je u náhodné veličiny diskrétní.

Náhodnou veličinu lze dále popsat pomocí distribuční funkce, často se setkáváme s popisem pomocí funkce hustoty (derivace distribuční funkce) nebo matematickým předpisem funkce.

Přesně definice těchto pojmů má tuto podobu:

Nechť  $\omega$  označujeme *elementární jevy*, množinu všech elementárních jevů

nazýváme *prostor elementárních jevů* a značíme jej  $\Omega$ . Na prostoru je dále dána  $\sigma$ -algebra  $A$  jeho podmnožin. Tyto podmnožiny se nazývají náhodné jevy. Jednotlivým množinám patřícím do  $A$  (a jenom jim) se pak připisuje pravděpodobnost pomocí pravděpodobnostní míry  $P$ . Trojice  $(\Omega, A, P)$  se nazývá *pravděpodobnostní prostor*. Necht'  $R$  je reálná přímka a  $\mathcal{B}$  systém jejích borelovských množin. Necht'  $X(\omega)$  je měřitelná funkce z  $(\Omega, A, P)$  do  $(R, \mathcal{B})$ . Pak se  $X(\omega)$  nazývá *náhodná veličina* a značí se stručně  $X$ . Každé borelovské množině  $B \in \mathcal{B}$  lze přiřadit její vzor  $X^{-1}(B) = \{\omega \in \Omega : X(\omega) \in B\}$  a pravděpodobnostní míru  $Q(B) = P\{X^{-1}(B)\}$ . Míra  $Q$  se nazývá *rozdělení náhodné veličiny  $X$* . [1 s.11]

Dále na data, která budou posléze zpracovávána, bude nahlíženo jako na data výběrová. Kvalitní a přesné měření na jednotlivých stanicích probíhá od roku 1961 a pro data získaná pro šestihodinové intervaly ze zpráv SYNOP (viz kapitola Kontrola dat) probíhá dokonce jen od roku 1982. K tomu, aby bylo možno určit parametry základního souboru, bude použit přístup nazvaný bodový odhad.

## 2.2 Bodový odhad

Jelikož v našem případě zkoumáme vlastnosti základního souboru za pomoci výběrových dat, musíme odhadovat jeho parametry statistickou indukcí. Využijeme při tom metod bodového odhadu, jenž spočívá v odvození neznámé charakteristiky základního souboru ze zpracovaných výběrových dat podle určitých pravidel. Statistiky, tedy veličiny odvozené z výběrových dat, jenž jsou odvozené z určitého  $n$ -členého výběrového souboru a které využijeme k bodovému odhadu neznámého parametru základního souboru, budeme dále značit  $T_n$  a jejich odpovídající odhadované charakteristiky  $T$ .

Kvalitu bodového odhadu určíme podle jeho vlastností:

- *Konzistence odhadu (neboli souhlasnost)*: Odhad  $T_n$  neznámé odhadované charakteristiky (parametru)  $T$  rozdělení základního souboru je považován za konzistentní, pokud je pravděpodobnost toho, že vzdálenost od jeho skutečné hodnoty je libovolně malá, rovna jedné. Platí, že se odhad s rostoucím rozsahem výběru zpřesňuje. Nebo-li:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|T_n - T| < \varepsilon) = 1, \quad \text{pro libovolně malé } \varepsilon.$$

Smyslem tohoto vztahu je to, že pravděpodobnost, že bodový odhad  $T_n$  odhadující  $T$  v základním souboru, se od  $T$  liší libovolně málo, roste se zvětšující se rozsahem pozorování  $n$  ve výběru (odhad  $T_n$  konverguje k hodnotě  $T$  neznámého parametru).

- *Nestrannost odhadu (nevychýlenost)*: Odhad je považován za nestranný, pokud je jeho střední hodnota rovna parametru základního souboru. Platí tedy:

$$E(T_n) = T$$

- *Vydatnost odhadu (eficience)*: Tato vlastnost odhadu je pouze relativní. Ze dvou bodových odhadů téhož parametru  $T$ , vypočtených ze stejného náhodného výběru za vydatnější bereme ten odhad, který má menší rozptyl.

[2 s. 41-42], [3 s. 150], [4 s. 96-97]

K určení bodových odhadů existuje více metod. V našem případě se budeme

blíže věnovat *metodě maximální věrohodnost* a *L-momentové metodě*, jejichž výsledky budeme dále porovnávat.

## 2.3 Metoda maximální věrohodnosti

Tato metoda patří mezi nejčastěji využívané z důvodu, že jednak využívá veškeré informace obsažené v náhodném výběru a také vede za obecných předpokladů k asymptoticky nestranným, asymptoticky nejvydatnějším a ke konzistentním odhadům. Vychází z takzvané věrohodnostní funkce, jež je potřeba si definovat. Náhodný výběr  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]'$  z rozdělení  $f(\mathbf{x}; \mathbf{T}) = f(x; T_1, T_2, \dots, T_p)$  má sdruženou hustotu pravděpodobnosti. Při daných výběrových hodnotách  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  závisí funkce  $f(\mathbf{x}; \mathbf{T})$  pouze na vektorovém parametru  $\mathbf{T}$ . Pak tuto funkci nazýváme funkce věrohodnostní a značíme ji  $L(\mathbf{x}; \mathbf{T})$  ( $L$  – podle likelihood, anglicky věrohodnost). [4]

Maximálně věrohodný odhad parametru  $T$  lze za určitých podmínek získat pomocí rovnice:

$$\frac{\partial L(T)}{\partial T} = 0.$$

## 2.4 L-momentová metoda

Druhou metodou, kterou lze využít k odhadu parametrů, je L-momentová metoda. L-moment  $\lambda_r$  je definován takto:

$$\lambda_r = \frac{1}{r} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} EX_{r-k:r}, \quad r = 1, 2, \dots,$$

kde

$$EX_{j:r} = \frac{r!}{(j-1)!(r-j)!} \int x (F(x))^{j-1} (1-F(x))^{r-j} dF(x).$$

Pro popsání prvních čtyř L-momentů i jejich odhadů existují předepsané funkce (popsány například v publikaci [18 s. 75-88]). Obecně lze však  $r$ -tý odhad zapsat tímto způsobem:

$$l_r = \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^{r-k-1} \binom{r-1}{k} \binom{r+k-1}{k} b_k,$$

kde

$$b_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)\dots(i-k)}{(n-1)(n-2)\dots(n-k)} X_{i:n}, \quad k \leq 1$$

a

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i:n}.$$

V případě L-momentové metody získáme odhad vyřešením rovnice:

$$\lambda_r = l_r.$$

Tato metoda má oproti metodě maximální věrohodnosti výhodu, že parametry zobecněného rozdělení extrémních hodnot lze získat snadněji jednoduchým dosazením do předepsaných vzorců pro každý z nich. [5 s. 225-227]

[18 s. 75-88]

## 2.5 Zobecněné rozdělení extrémálních hodnot

K dalším výpočtům využijeme zobecněné rozdělení extrémálních hodnot, jenž

se v literatuře často označuje zkráceně GEV (podle anglického *The Generalized Extreme Value*). Toto rozdělení lze zařadit mezi rozdělení limitní. V podstatě se skládá ze tří distribučních funkcí (*Fréchet*, *Weibull* a *Gumbel*), jejichž vhodnou reparametrizací lze charakterizovat GEV. Distribuční funkce tohoto rozdělení má tuto formu:

$$G(z) = \exp \left\{ - \left[ 1 + k \left( \frac{z-b}{a} \right) \right]^{-1/\xi} \right\},$$

definované na množině:  $\{z : 1 + k(z-b)/a > 0\}$   
 a pro parametry platí:  $-\infty < b < \infty, -\infty < a < \infty$ .

Tento model má tři parametry: **parametr polohy** (location parametr) ***b***, **parametr měřítka** (scale parametr) ***a***, a pro naši další práci velice důležitý **parametr tvaru** (shape parametr) ***k***. Pokud hodnota parametru tvaru je vyšší než 0, tak se o rozdělení říká, že má tzv. **těžké chvosty**. Pro odhadnutí kvantilů se nejčastěji využívá maximální věrohodnostní funkce:

$$L(b, a, k) = -l \log a - (1 + 1/k) \sum_{i=1}^l \log(1 + k((M_i - b)/a)) - \sum_{i=1}^l [1 + k((M_i - b)/a)]^{-1/k},$$

kde  $l$  určuje počet skupin a  $M_i, i = 1, \dots, l$ , maximum v každé z nich.

[6 s. 47-49] [18 s. 75-88]

Doba návratnosti jevu (return period,  $T$ ) lze získat z rovnosti:

$$G(z) = 1 - \frac{1}{T}, \quad \text{resp.} \quad z = G^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right).$$

### **3 Fyzicko-geografická charakteristika ČR**

#### **3.1 Poloha**

Česká republika je samostatný stát střední Evropy. Svou rozlohou 78 867 km<sup>2</sup> se řadí na 21. místo celého kontinentu. [7] Území státu, které je tvarem protáhlé, se rozkládá okolo 50. rovnoběžky severní šířky. Vzdušnou čarou nejdelší vzdálenost od západní hranice k východní činí 493 km. Spojnice nejsevernějšího a nejjihuějšího bodu měří 278 km. Nejdelší hranici má ČR s Německem (810,3 km). Dále ještě sousedí s Polskem (761,8 km), Rakouskem (466,3 km) a Slovenskem (251,8 km). [8 s. 25]

#### **3.2 Přírodní poměry**

Pro přírodní poměry na území České republiky je charakteristické mírné vlhké podnebí se střídáním čtyř ročních období, které se vyznačuje prolínáním vlivů kontinentálního klimatu v oblasti Čech a oceánského klimatu především na území Moravy a Slezska. Česko se nachází v oblasti západních větrů a intenzivní cyklonální činnosti. Nemalý vliv na podnebí má reliéf. Česko má charakteristickou polohu okrajových pohoří, jež byla vyzdvižena na přelomu druhohor a třetihor z částí České vysočiny rozlámané alpsko-himalájským vrásněním. I tak více jak dvě třetiny území (66,97 %; 52 817 km<sup>2</sup>) leží v nadmořské výšce do 500 m. Rozvodnice úmoří Černého, Baltského a Severního moře se střetávají v Jesenické geomorfologické oblasti, konkrétně na vrcholu Klepý v masivu Kralického Sněžníku, a tvoří hlavní evropské rozvodí. Hlavními říčními osami v Čechách jsou Vltava (délka toku 433 km) a Labe (370 km), které odvádějí vodu do Severního moře. Na Moravě jsou to



pak řeka Morava (246 km) a její přítok Dyje (306 km), které patří do úmoří Černého moře. Nejvýznamějšími toky Slezska a severní Moravy jsou Odra (135 km) a Opava (131 km) náležející k úmoří Baltského moře. [9]

### ***3.3 Klima v České republice***

Klima je výslednicí dlouhodobého působení radiačních poměrů, všeobecné cirkulace atmosféry, vlastností podkladu (nadmořská výška, tvar terénu, jeho sklon a orientace, schopnost pohlcovat a odrážet záření) a lidských zásahů. Klimatické klasifikace souhrně vyjadřují klimatické poměry s přihlédnutím ke vzájemným vazbám mezi jednotlivými meteorologickými prvky, případně k převažujícím typům atmosférické cirkulace. Klasifikací je velké množství a jejich konstrukce závisí na účelu použití. [9]

Nejčastěji využívaná metoda nese název podle německého geografa Wladimira Köppena, který ji v roce 1900 vypracoval. Využil k jejímu sestavení rozložení teplot vzduchu a atmosferických srážek ve vztahu k vegetaci. [10] Podnebí Köppen dělí na pět hlavních částí (tropické deštné podnebí, suché podnebí, teplé dešťové podnebí, boreální podnebí a sněhové a ledové podnebí), které se dále dělí na celkem jedenáct typů. Pro určení, kam jaká oblast patří, slouží postup popsáný v knize *Das geographische System der Klimate*, kterou Köppen vydal v roce 1936 spolu s Rudolfem Geigerem (proto se metoda někdy nazývá také Köppenova-Geigerova). Zjednodušeně se dá říci, že pro onu klasifikaci postačuje do daného algoritmu dosadit hodnoty ročních a měsíčních srážek spolu s průměrnými teplotami. Na území České republiky se nachází několik typů podnebí. Podtyp listnatých lesů mírného pásma, jenž řadíme mezi klima teplé deštné, se nachází na naprosté většině území. Méně časté podnebí jsou dva podtypy boreálního klimatu, které se vyskytují v horských oblastech.

Naprostojedinelá jsou místa, kde panuje klima sněhové a ledové, konkrétně podtyp tundry. Najdeme je pouze na několika vrcholcích nejvyšších pohoří Česka Krkonoš a Jeseníků. Teplota nejteplejšího měsíce se tu pohybuje pouze mezi 0 až 10 °C.

Další metodou pro klasifikaci klimatu, která patří mezi nejčastěji využívané, nese název po E. Quittovi. Je definována celkem čtrnácti faktory (počet letních, ledových a mrazových dní, počet zamračených a jasných dní, počet dní se sněhovou pokrývkou, počet dní se srážkami 1 mm a více, průměrná teplota vzduchu v lednu, v dubnu, v červenci a v říjnu, srážkový úhrn za vegetační období duben až září a v zimním období říjen až březen a počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více). [9] Podle charakteru místních hodnot Quitt rozdělil podnebí na celkem 3 hlavní typy s celkem 23 podtypy. Ne všechny se na území České republiky vyskytují. Zjednodušeně můžeme říct, že nížiny spadají do oblasti teplé, střední polohy mají středně teplé klima a ve vyšších nadmořských výškách panuje již podnebí chladné.

## **4 Srážky**

Srážky můžeme definovat jako všechny vodní částice v pevném nebo kapalném skupenství, jež vznikají v atmosféře a dopadají na zemský povrch. [11] Pro vnitrozemskou oblast České republiky znamenají srážky hlavní zdroj vody a hrají tak klíčovou roli v mnoha odvětvích lidské činnosti i přírodních dějích. Každý větší nedostatek i přebytek může mít za následek ztrátu lidských životů či materiální škody. V posledních letech postihlo Česko několik těchto

extrémů. Příčinou povodní mohou být:

a) krátké intenzivní srážky, které se vyskytují výhradně v letních měsících a mají katastrofální lokální účinky. Vznikají v oblasti studených a zvlněných studených front. Při náhlém plošném odtoku způsobují ničivé povodně.

b) vydatné trvalé srážky, jenž mívají frontální původ a větší územní rozsah, způsobily v roce 2002 jednu z největších přírodních katastrof na území České republiky. Záplavy ze srpna tohoto roku měly na svém kontě 17 lidských životů a materiální škody vyčíslené na více než 70 miliard korun. [12 s. 127-131]

c) při tání sněhové pokrývky záleží na mnoha faktorech. Důležité jsou množství a vodní hodnota sněhové pokrývky, stav půdy, intenzita oteplení a ledové jevy na řekách. Efekt mohou navíc zesílit srážky a vyšší rychlost větru při kladných teplotách vzduchu.

[12 s. 127-131]

Nedostatek srážek působí negativně především v zemědělství a vodohospodářství. Mezi nejvýznamnější období sucha patřil listopad roku 2011, kdy některé meteorologické stanice nezaznamenaly žádné úhrny srážek. A celkově nepřekročil průměrný celoměsíční úhrn spadlých srážek 1 mm, ačkoliv průměr v tomto období činí 49 mm. Byl to tedy absolutně nejsušší měsíc od počátku měření srážek na našem území od roku 1876. [13] Daleko ničivější účinky mělo však dlouhodobé sucho z dubna až června roku 2000, které zapříčinilo neúrodu obilovin na jižní Moravě. Kompenzace státu zemědělcům za ušlé zisky dosáhla asi 5 miliard korun (např. u jarní pšenice, která je zvláště citlivá na srážky v uvedeném období, poklesl průměrný

hektarový výnos z 3,9 t.ha<sup>-1</sup> v roce 1999 na 2,81 t.ha<sup>-1</sup> v následujícím roce).  
[12 s. 127-131]

#### ***4.1 Rozložení srážek během roku***

Charakter rozložení srážek během roku vyjadřuje takzvaná míra ombrické kontinentality a oceanity, jež vychází z předpokladu rozdílných rozdělení srážek a jejich maximálních hodnot během roku. Jednou z možných metod pro vyjádření této míry je použití stupně nerovnoměrnosti ročního chodu srážek podle C. G. Markhama. [14 s. 91-103]

V tomto případě se využívá vektorového součtu jednotlivých měsíčních úhrnů, přičemž velikost výsledného vektoru je dělena ročním úhrnem srážek a vyjádřena v procentech. Nižší stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek je typický pro oblasti nejvyšších hor České republiky, kde velikost tohoto stupně nepřesahuje 5 %. Tyto oblasti označujeme jako ombrický oceanitní a platí zde, že srážky během roku kolísají minimálně. Naopak území ombrické kontinentality najdeme především v oblastech kotlin a nížin. Příkladem mohou být Českobudějovická a Třeboňská pánev s 30 a více %. Dále je pro Česko typické i nerovnoměrné rozdělení měsíců s nejvíce a nejméně srážkami. Měsíc s maximálními průměrnými srážkami, červenec, není pro všechny měřicí stanice stejný. V některých případech připadá ono maximum na červen (například může být meteorologická stanice Churáňov v jižních Čechách), jinde na srpen (meteorologická stanice Chřibská v Ústeckém kraji) a na meteorologických stanicích Rokytnice nad Jizerou a Harrachov (obě v Libereckém kraji) se maximální srážky přesunuly až na měsíc prosinec. [9]

## 4.2 Druhy srážek

Srážky jsou na území České republiky typické značnou prostorovou a časovou proměnlivostí, která je dána interakcí fyzikálních procesů jejich vzniku, atmosferické cirkulace a fyzicko-geografických charakteristik našeho území. Velké množství srážek je ovlivněno charakterem synoptické situace, kdy s ohledem na její postup a dosah se mohou projevovat značné prostorové rozdíly. Tyto rozdíly jsou navíc zvýrazněny orografickými vlivy, nimž patří zvyšování množství srážek s růstem nadmořské výšky a vlivy expozice, kdy s ohledem na směr proudění mají návětrné svahy vyšší úhrny než svahy závětrné. [9]

V přírodních podmínkách ČR se můžeme setkat se dvěma druhy srážek. Dělení se řídí podle místa vzniku srážek. Vertikální srážky jsou způsobeny kondenzací vodních par na skupenství kapalné až pevné v atmosféře a padají na zemský povrch v podobě deště, sněhu, mrholení, krup atd. Oproti tomu horizontální srážky vznikají bezprostředně nad zemským povrchem. Do této skupiny můžeme zařadit mlhu, rosu, jinovatku a jiné. [15]

K měření srážek se nejčastěji využívá srážkoměr, ombrograf a totalizátor.

Srážkoměr (nebo též ombrometr) se skládá z kovové nádoby s nálevkou s vodorovnou záchytnou plochou 0,05 m<sup>2</sup>. Horní okraj ombrometru je vždy umístěn 1 m nad terénem. Z nálevky odtéká voda do konvice o obsahu 2 l. Pevné sněhové srážky se nejprve nechávají roztát. Voda se slévá do srážkoměrného válce, který je kalibrován přímo v [mm] srážek s přesností na 0,1 mm. Srážky se zaznamenávají vždy k 7. hodině ranní a údaj se zapisuje k předcházejícímu dni.

Ombrograf je přístroj plynule zaznamenávající průběh srážek v čase. Z nálevky o záchytné ploše 250 cm<sup>2</sup> stéká voda do plovákové komory. Pohyb plováku je přenášen na písátko a zaznamenáván s přesností 0,1 mm na pásku v závislosti

na čase. Ombrogram, což je grafický záznam průběhu srážek, je napnut na válci hodinového stroje a je vyměňován jednou za týden nebo dva týdny. Přestoupí-li pisátko k hornímu okraji pásky, plná plováková komora se vyprázdní pomocí násosky do nádrže a zápis pokračuje od nuly.

Ombrografy bývají nahrazovány člunkovými srážkoměry. Tyto přístroje fungují na principu překlápějícího se člunku, jehož polovina se vždy plní vodou. Po dosažení přednastaveného množství srážek v člunku, se vahou vody člunek přetočí, vyprázdní a plnit se začíná jeho druhá část. Každé přetočení se automaticky zaznamenává i s časem. Díky tomu můžeme přesně sledovat množství i intenzitu srážek.

Totalizátor se používá k měření srážkových úhrnů za delší časové období (měsíčně až ročně) na těžko dostupných místech. Válcovitá nádoba je opatřena speciálním Nipherovým kuželem, který brání vzniku vzdušných vírů, a je postavena na mohutném podstavci 3 – 4 m vysokém. Totalizátor měří kapalně i pevné srážky. Výparu srážek a tedy znehodnocení měření brání přidání silikonový olej. Pevné srážky jsou v totalizátoru rozpouštěny díky chloridu vápenatému. [15]

## ***5 Historie meteorologického měření na území ČR***

Nejstarší zprávy o stavu počasí na území České republiky se datují už ke 12. století. Pro porovnávání změn klimatu mají však minimální hodnotu, jelikož byly zaznamenávány pouze neobvyklé přírodní jevy, které navíc postrádaly přesné empirické vyjádření. Potřebou vzniku přesných měřicích stanic se zabíral již Johannes Kepler (1571-1630), podle kterého je kvalitní

klimatologie podmíněna pravidelným a přesným meteorologickým měřením. Zlom nastal až v roce 1752, kdy zásluhou Josefa Steplinga (1716-1778), jenž tou dobou vedl pražskou klementinskou hvězdárnu, začalo na téže místě pravidelné měření teplot. Steplingův nástupce na místě ředitele Antonín Strnad (1746-1799) měl ovšem plány ještě velkolepější. Podle něj pozorování na jednom místě nemůže vypovídat o povětrnostních podmínkách v celé zemi a je potřeba spolehlivých a rozumných lidí ve všech částech Českého království, kteří by podávali zprávy o pozorování počasí po dobu několika let. [9] Tato data byla zpracovávána a následně souhrně publikována badateli působícími v Klementinu. Na instituci z hlediska mezinárodního výborně vybavenou povýšil Klementinum Karl Kreil (1798-1862), jenž zřídil v Praze zcela novou magnetickou a meteorologickou observatoř. Velkou ranou pro měření v Českých zemích bylo císařské rozhodnutí ze dne 23. července 1851 o zřízení Ústředního ústavu pro meteorologii a zemský magnetismus (Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus), jehož novým ředitelem se stal Karl Kreil a s sebou do Vídně si vzal spolupracovníky z Klementinské observatoře. Meteorologie se tak stala oficiálně státní službou Rakousko-Uherského císařství. [16] Síť českých stanic byla rozpuštěna a Klementinum ztratilo své výsadní postavení.

Zlomem pro sledování hydrologických jevů na našem území byl výnos rakouského Ministerstva obchodu z 20. listopadu 1850, který nařizoval pravidelnou kontrolu stavu největších vodních toků a výsledky podstupovat příslušnému úřadu. Velké přírodní pohromy spolu s touto normou vedly český zemský sněm v roce 1875 ke zřízení Hydrometeorologické komise pro Království české, která na rozdíl od ostatních zemí rakouského mocnářství, kde tuto funkci vykonávali dobrovolníci, byla vydržována z českých financí, a jednalo se tedy o zcela autonomní instituci. Hned z počátku byla její působnost rozdělena do dvou sekcí. První, hydrologickou, vedl Andreas Rudolf

Harlacher (1842-1890) a tu druhou, ombrometrickou, František Josef Studnička (1836-1903). [16] Právě jemu se do deseti let působení ve funkci povedlo sloučením se sítí pro lesnické potřeby vytvořit nejhustší srážkoměrnou síť na světě čítající 750 měřících stanic. [9]

Na Moravě a ve Slezsku začalo měření později. Hlavní zásluhu na tom měl Přírodopysný spolek založený v Brně v roce 1861. I zde po vzoru Čech došlo ke spolupráci s Moravsko-slezským lesnickým spolkem ve snaze navýšit počet měřících stanic. Za zmínku jistě stojí vydávání ročenek i s mapovými přílohami. [9]

Po skončení první světové války a vzniku Československého státu se začalo měnit mnohé ve státní správě a ani instituce zabývající se meteorologií a hydrologií nebyly výjimkou. Ze zaniklých center monarchie se začala přesouvat vedení organizací do Prahy a začaly vznikat zcela nové úřady. Na přelomu let 1919 a 1920 vznikl tak Státní ústav meteorologický (SÚM), jenž přebíral měřící stanice v Čechách, které spadaly dříve pod vedení ve Vídni, a na Moravě, které spravoval Přírodopysný spolek. Prvním ředitelem byl zvolen Rudolf Schneider (1881-1955). Hlavní sídlo ústavu v Praze se zprvu často měnilo (Karlova, Holečkova ulice na Smíchově, Lucemburská ulice na Vinohradech), až od roku 1959 konečně našlo vhodné prostory v budově bývalého zámku v Komořanech u Prahy.

Měření srážek byl pověřen nově vzniklý Státní ústav hydrologický (SÚH). Zřízen byl na základě usnesení ministerské rady z 9. prosince 1919 a činnost zahájil 13. října o rok později. Spadal pod ministerstvo veřejných prací a jeho ředitelem byl zvolen Jan Smetana (1883-1962). Svou sítí měřících stanic patřily Státní výzkumné ústavy hydrologický a hydrotechnický T. G. Masaryka, jak se od roku 1930 SÚH jmenoval, mezi nejhustší na světě. Sídla ústavů vznikla v Praze na Podbabě. [16] Během druhé světové války se ovšem



sítě Státního ústavu meteorologického i Státního výzkumného ústavu hydrologického a hydrotechnického T. G. Masaryka rozdělily podle území, která musela Československá republika podstoupit okupujícímu Německu. Tyto části mezi sebou během války nespolupracovaly. Po jejím skončení a navrácení území (již bez Podkarpatské Rusi, která připadla SSSR) mohla být síť znovu spojena pod souhrnným názvem Státní meteorologický ústav. Tento institut vznikl sloučením Státního výzkumného ústavu hydrologického a hydrotechnického a slovenského Štátného meteorologického úradu v Bratislavě, jenž vznikl se založením samostatného slovenského státu v roce 1939. Spojení bylo dokonáno roku 1952 kompletním přesunutím všech pravomocí do Prahy. Ředitelem ústavu se stal Josef Zítek (1916-1989). Dalším velkou změnu vyvolalo státní nařízení č. 96/1953 Sb. vstupující v platnost 1. ledna 1954 o Hydrometeorologickém ústavu. Znamenalo sloučení Státního meteorologického ústavu s hydrologií a vznik jedné instituce zaštiťující oba obory. Tento model kooperace funguje dodnes, ačkoliv roku 1969 došlo k oficiálnímu administrativnímu rozdělení úřadu na českou (s názvem Hydrometeorologický ústav Praha a od roku 1980 Český hydrometeorologický ústav) a slovenskou (s názvem Hydrometeorologický ústav Bratislava a od roku 1982 Slovenský hydrometeorologický ústav) část. Po rozpadu federace v roce 1993 došlo ke změně pouze ve smyslu působnosti. Za chod Českého hydrometeorologického ústavu nově odpovídá ministerstvo životního prostředí. [16]

## ***5.1 Způsoby měření srážek na území ČR***

I když první měření množství srážek v pražském Klementinu pochází již z roku 1752, jejich souvislá systematická pozorování v českých zemích začala teprve 1. ledna 1803 v Brně a 1. května 1804 v Praze, Klementinu. Srážky byly

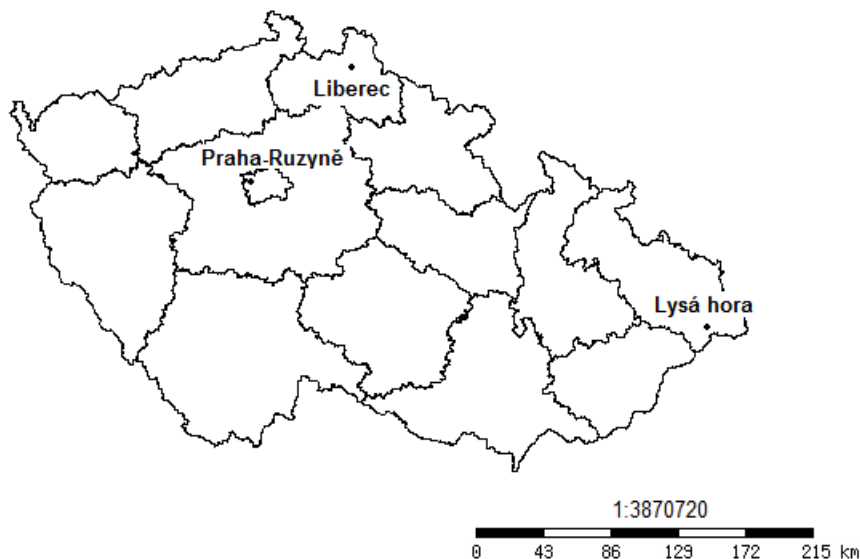
zachycovány do nádoby o známém průměru a vážením se zjišťovalo množství vody, které bylo následně přepočítáno na výšku vodního sloupce v dobových délkových jednotkách, později převedených na milimetry. Po zřízení rakouského Ústředního ústavu pro meteorologii a zemský magnetismus ve Vídni se postupně přecházelo na měření standardizovanými srážkoměry s válcovou záchytnou nádobou. Zachycené množství srážkové vody nebo rozpuštěného sněhu v případě tuhých srážek se pak měřilo v kalibrované odměrce s přesností na desetiny milimetru. V hodnoceném období od roku 1961 se srážky v Česku měřily uvedeným způsobem výhradně staničním srážkoměrem typu METRA o záchytné ploše 500 cm<sup>2</sup>, umístěným na volném prostranství s výškou záchytné plochy 1m nad zemí. Množství srážek se zjišťovalo v 7 hodin ráno, přičemž naměřený úhrn byl zapisován k předchozímu dni. V souvislosti s automatizací meteorologických pozorování se od roku 1997 začal srážkoměr METRA nahrazovat na některých stanicích automatickým srážkoměrem MR3H se stejnou záchytnou plochou a mechanismem děleného překlápěcího člunku, měřící s rozlišením na 0,1 mm. [9]

## **6 Kontrola dat**

Data, se kterými bude prováděna hlavní část práce, jsou převzatá od Českého hydrometeorologického ústavu. Představují maximální srážky na daných stanicích za určité časové období od roku 1961 pro data sbíraná klasickou metodou pomocí srážkoměru METRA a od roku 1982 pro data určená ze zpráv SYNOP. U klasické metody, jak bylo již dříve uvedeno, probíhá sběr dat vždy jednou denně v sedm hodin ráno a data jsou připočtena zpětně ke dni předešlému. U dat vyčtených ze zpráv SYNOP máme data díky volně

zvolenému intervalu měření srážek do určité míry rozdílná. Při kontrole je proto potřeba brát v potaz, že pokud zvolený interval maximálních denních srážek přechází přes hranici sedmé hodiny ranní, bude hodnota pravděpodobně vyšší u dat ze zpráv SYNOP. Pro samostanou výpočetní část budou využívána data ze tří různých míst České republiky. Vybrány byly hydrometeorologické automatizované stanice s profesionální obsluhou v **Liberci** (souřadnice: 50° 77' zeměpisné šířky, 15° 02' zeměpisné délky; nadmořská výška: 397.7 m), **Praze – Ruzyni** (50° 10' z.š., 14° 26' z.d.; n.v.: 364 m) a na **Lysé hoře** (49° 55' z.š., 18° 45' z.d.; n.v.: 1321.8 m). Hodnota naměřených srážek je velice rozmanitá, což je dáno již dříve popsány rozdílnými geografickými i klimatickými poměry v daných místech.

Mapa 1: Mapa umístění vybraných stanic na území ČR, s využitím podkladové mapy krajů ČR a softwaru pro tvorbu map dostupného na geoportálu <http://geoportal.gov.cz>



Tab. 1: Maximální úhrny srážek, stanice Liberec, v [mm]

rok/maxima	6H	12H	18H	24H	1D	2D	3D	5D	7D	10D	15D
1961					35.6	53.7	70.3	75.8	76.1	105.1	138.2
1962					23.1	24.4	33.3	39.0	47.1	58.9	74.9
1963					28.8	37.3	37.3	42.3	50.1	63.1	83.8
1964					69.4	89.6	90.3	100.9	112.8	124.9	156.5
1965					36.3	58.9	63.1	68.7	70.1	94.9	119.7
1966					35.0	53.6	54.7	60.3	88.5	94.9	136.7
1967					59.0	69.2	69.3	80.1	97.5	111.5	125.5
1968					21.8	27.3	33.8	52.2	65.1	76.3	100.4
1969					32.2	41.8	42.5	46.3	70.7	84.8	98.7
1970					37.3	49.5	61.1	67.2	79.7	86.6	103.5
1971					44.2	55.1	81.4	92.7	95.5	102.3	118.1
1972					42.2	61.1	63.5	81.2	92.9	101.4	121.5
1973					31.7	36.5	50.8	63.3	64.4	70.8	92.0
1974					35.9	59.6	69.7	88.9	115.2	141.3	165.0
1975					34.9	41.8	43.6	43.6	45.4	59.3	72.2
1976					17.9	29.9	34.6	42.8	45.4	57.0	85.8
1977					43.1	63.0	72.8	83.0	83.0	110.4	128.3
1978					42.1	80.3	93.7	103.7	103.9	113.7	122.1
1979					33.7	40.9	61.7	87.8	91.5	93.7	95.0
1980					24.3	38.0	41.1	52.9	65.0	88.8	112.1
1981					67.9	119.1	147.9	161.5	194.5	229.9	259.1
1982	18.0	26.0	27.0	28.0	27.7	33.7	36.5	40.2	41.4	47.0	60.3
1983	25.0	42.0	56.0	69.0	64.3	99.7	116.5	140.9	143.4	151.2	160.3
1984	29.0	29.0	29.0	29.0	28.9	51.1	53.3	56.3	78.1	78.9	100.7
1985	19.5	20.0	23.0	23.0	21.8	23.9	33.8	47.2	55.2	65.1	76.2
1986	35.0	35.2	38.0	40.0	39.4	41.5	44.9	60.2	64.1	85.7	113.4
1987	37.0	44.0	47.0	47.0	47.0	48.8	48.8	58.1	59.9	69.8	71.3
1988	40.0	40.5	40.5	40.5	40.9	42.6	49.5	67.8	72.6	77.0	93.6
1989	33.0	42.0	49.0	53.0	48.3	55.2	55.9	63.6	68.3	80.6	88.9
1990	19.0	26.0	28.0	29.0	26.7	32.6	38.0	55.0	61.2	66.1	81.3
1991	42.0	49.0	50.0	60.0	54.4	67.3	67.6	71.9	71.9	81.8	86.7
1992	45.0	87.0	122.0	122.5	122.2	122.7	122.9	123.7	123.7	124.1	162.0
1993	55.0	60.0	68.0	74.0	63.3	79.9	93.9	100.5	144.8	165.4	185.3
1994	24.0	43.0	44.0	44.0	35.8	45.5	58.9	69.4	75.0	85.5	105.5
1995	37.0	55.0	66.0	72.0	69.1	77.4	79.8	110.6	117.6	125.7	135.5
1996	30.0	32.0	51.0	63.0	62.3	62.5	74.3	111.5	123.5	129.3	144.7
1997	26.0	45.0	46.0	49.0	38.4	64.2	82.1	102.9	108.5	122.1	153.5
1998	29.0	39.6	48.6	50.6	40.5	50.9	63.2	78.1	88.5	114.3	134.1
1999	53.0	57.0	57.8	58.0	56.6	61.5	62.6	66.1	71.9	89.2	95.5
2000	14.0	23.0	26.0	28.0	28.4	34.9	38.4	46.0	58.8	79.2	92.4
2001	21.0	32.0	39.0	43.0	35.9	50.8	50.8	58.0	66.2	93.6	125.5
2002	32.0	62.0	85.0	109.0	87.3	123.9	129.0	129.0	159.0	175.1	205.1
2003	18.0	23.0	26.7	28.7	25.7	31.1	34.5	45.1	49.4	51.3	53.8
2004	24.0	25.0	25.0	25.0	24.9	32.1	43.5	61.8	71.5	83.3	101.0
2005	17.0	25.0	33.0	34.0	29.7	35.9	38.7	55.8	57.2	88.0	92.1
2006	28.0	38.0	64.0	74.0	66.0	103.1	113.9	132.6	134.8	149.7	168.6
2007	14.0	22.0	30.0	34.0	32.6	46.6	47.0	52.1	66.9	80.4	89.0
2008	31.0	37.0	37.5	38.0	38.0	55.7	63.2	66.6	66.6	90.2	96.5
2009	22.0	27.0	27.1	30.0	27.0	40.1	48.9	114.6	116.0	116.6	117.8
2010	54.0	103.0	136.0	151.0	98.9	165.5	187.4	187.9	223.1	260.7	297.4

Tab. 2: Maximální úhrny srážek, stanice Lysá hora, v [mm]

rok/maxima	6H	12H	18H	24H	1D	2D	3D	5D	7D	10D	15D
1961					50.7	75.5	77.3	79.6	96.0	114.6	133.2
1962					46.8	57.1	62.2	90.7	110.2	139.2	174.8
1963					60.4	68.2	76.0	79.6	85.5	107.9	152.5
1964					89.0	103.7	103.8	103.8	108.0	152.0	199.4
1965					98.8	132.2	153.2	173.9	187.6	211.8	239.8
1966					80.4	118.8	161.4	205.0	237.7	281.2	291.4
1967					53.3	79.1	89.8	95.8	104.7	123.9	144.8
1968					110.8	220.0	245.5	258.3	264.8	307.0	404.9
1969					73.4	98.1	98.6	106.9	113.3	164.5	186.4
1970					148.6	251.2	270.4	296.8	304.4	317.2	339.3
1971					65.6	102.1	128.1	172.7	181.8	190.5	212.2
1972					211.7	371.2	412.4	431.2	462.6	465.4	471.5
1973					73.3	110.6	154.2	170.0	183.2	203.4	232.2
1974					69.3	113.3	121.9	143.6	148.3	152.6	172.2
1975					47.6	77.8	113.9	148.2	191.4	235.5	304.0
1976					69.7	85.2	88.6	101.1	123.0	149.2	187.0
1977					111.3	200.0	237.0	256.2	266.6	275.5	298.9
1978					56.1	83.5	99.9	114.6	117.3	125.8	182.8
1979					47.6	65.4	65.7	82.3	103.3	105.1	147.4
1980					113.7	170.7	172.8	190.7	199.9	210.2	239.9
1981					61.5	84.6	97.6	129.6	149.6	162.6	197.7
1982	46.0	61.0	77.0	93.0	92.9	124.7	124.8	134.6	134.7	156.3	208.5
1983	36.0	67.0	67.0	67.5	51.6	69.0	78.5	126.5	131.1	133.8	168.6
1984	36.0	51.0	52.0	54.0	53.7	58.6	67.7	80.8	106.7	120.1	126.8
1985	49.0	88.0	116.0	138.0	137.7	220.8	267.1	282.8	294.1	336.2	361.4
1986	38.0	38.0	43.0	65.0	48.3	65.3	67.2	88.4	111.2	119.5	178.9
1987	33.0	57.0	66.0	71.0	57.7	71.4	83.4	91.4	112.4	154.3	170.9
1988	45.0	53.0	53.3	53.5	53.2	53.5	64.4	80.4	87.6	111.0	159.9
1989	25.0	41.0	57.0	75.0	60.1	89.1	93.6	97.4	158.3	180.8	195.4
1990	77.0	89.0	90.0	95.0	88.7	95.9	95.9	98.5	103.5	121.4	138.1
1991	42.0	72.0	83.0	101.0	77.8	135.8	190.6	223.8	223.8	298.0	325.2
1992	44.0	47.0	54.0	56.0	49.4	81.5	82.6	101.0	108.1	130.1	134.4
1993	21.0	23.0	31.0	37.0	30.5	52.2	67.1	79.2	85.6	100.7	140.9
1994	29.0	48.0	69.0	83.0	82.8	93.3	95.0	146.1	159.2	161.3	184.2
1995	68.0	79.0	79.0	86.0	90.0	135.2	147.0	147.9	166.2	210.5	229.7
1996	69.0	115.0	144.0	159.0	158.8	197.9	207.1	253.2	263.4	308.8	335.9
1997	109.0	162.0	210.0	234.0	233.8	339.0	509.7	585.7	596.0	638.1	705.6
1998	46.0	77.0	105.0	115.0	87.4	121.4	130.2	133.1	170.9	177.0	196.1
1999	25.0	48.0	70.0	92.0	68.6	129.8	137.0	169.8	209.9	215.1	240.6
2000	52.0	97.0	140.0	179.0	135.3	246.4	306.9	306.9	329.2	366.5	464.3
2001	32.0	57.0	75.0	87.0	80.1	105.1	122.3	168.7	204.5	287.3	296.9
2002	50.0	71.0	95.0	108.0	97.6	142.5	158.2	176.9	201.2	210.3	250.3
2003	40.0	46.0	46.0	46.2	44.7	57.2	62.4	89.0	100.7	126.7	140.1
2004	23.7	39.7	40.0	40.0	40.3	53.0	73.5	86.7	89.4	122.2	141.3
2005	52.0	95.0	108.0	118.0	61.5	122.3	125.6	132.3	134.7	140.8	153.9
2006	40.0	75.0	89.0	93.0	88.3	96.3	100.3	119.9	159.3	176.8	201.9
2007	40.0	69.0	83.0	104.0	75.0	133.3	183.0	221.2	244.1	273.6	292.8
2008	32.0	44.0	46.0	54.0	42.4	72.6	91.2	103.5	110.9	126.6	177.9
2009	33.0	55.0	74.0	100.0	99.8	137.3	165.3	211.7	237.9	245.3	249.9
2010	56.0	105.0	143.0	181.0	163.2	262.6	312.2	347.5	370.6	417.7	458.3

Tab. 3: Maximální úhrny srážek, stanice Praha-Ruzyně, v [mm]

rok/maxima	6H	12H	18H	24H	1D	2D	3D	5D	7D	10D	15D
1961					21.7	31.8	34.7	37.9	52.7	59.3	66.4
1962					37.0	37.0	42.5	45.6	50.6	50.9	68.5
1963					38.2	50.8	57.1	57.2	100.6	108.2	129.8
1964					23.9	34.8	38.4	42.8	53.2	56.9	80.5
1965					23.0	45.2	45.2	65.8	67.5	92.0	106.8
1966					38.2	40.0	40.0	44.9	66.9	84.1	98.4
1967					35.0	41.2	41.9	57.7	79.3	96.7	107.2
1968					29.8	30.4	47.5	50.1	66.3	72.2	83.6
1969					19.6	25.3	30.5	37.8	47.4	54.3	69.7
1970					33.0	38.9	43.0	51.5	86.3	90.5	98.5
1971					43.8	60.1	68.6	76.1	86.1	90.7	105.6
1972					32.2	33.0	37.1	42.8	47.0	72.3	85.9
1973					22.4	23.8	39.0	40.8	49.1	61.2	88.2
1974					44.7	66.7	66.8	69.7	70.7	73.7	97.1
1975					65.4	76.8	77.2	77.9	87.2	108.9	120.1
1976					18.0	28.0	35.0	44.5	48.1	49.4	66.3
1977					56.5	69.4	72.4	72.4	72.4	82.8	113.7
1978					43.4	70.1	70.1	71.8	72.1	81.1	85.8
1979					49.2	57.3	68.2	87.2	87.9	89.0	111.8
1980					28.7	49.5	51.7	53.0	56.3	66.0	81.8
1981					93.3	121.6	149.6	158.5	179.0	190.1	213.0
1982	41.2	42.0	44.0	44.0	42.1	47.1	49.2	51.5	53.1	65.7	69.2
1983	64.5	74.5	74.5	74.5	74.5	74.5	91.7	114.8	115.6	144.7	144.7
1984	20.0	20.3	20.3	20.4	20.5	30.3	30.3	41.4	44.7	60.5	64.5
1985	27.0	27.0	27.0	37.0	27.4	37.0	44.8	49.2	57.2	68.8	78.9
1986	52.0	60.0	66.0	73.0	61.2	74.6	103.4	127.7	130.8	143.2	160.2
1987	40.0	42.0	42.0	42.0	40.4	40.4	40.4	40.4	43.6	62.8	82.1
1988	33.0	39.0	43.0	43.1	44.0	44.1	44.8	52.5	53.2	92.4	99.6
1989	41.0	44.0	44.0	44.0	44.1	44.1	46.4	60.4	62.9	70.1	89.4
1990	17.0	19.0	23.0	25.0	25.2	36.9	38.6	43.7	48.3	49.0	50.6
1991	22.0	30.0	30.3	37.0	37.0	41.6	41.7	46.0	46.4	65.5	79.4
1992	21.0	32.0	50.0	50.0	50.4	50.4	59.1	63.9	72.9	75.9	76.5
1993	16.0	20.0	35.0	39.0	30.6	43.2	54.8	58.4	69.6	83.5	88.1
1994	14.0	21.0	21.5	22.0	21.8	25.2	34.0	34.0	39.1	43.6	53.2
1995	27.0	40.0	44.0	48.0	43.7	48.3	48.4	50.5	62.2	65.2	84.0
1996	26.0	29.0	34.0	40.0	39.8	40.2	41.8	69.2	78.8	86.2	118.2
1997	20.0	23.4	24.4	26.0	20.9	32.1	43.2	56.5	63.3	84.8	85.6
1998	14.0	21.0	24.0	24.0	24.3	25.0	27.6	40.8	47.1	55.1	77.2
1999	25.6	28.0	28.0	33.0	28.0	46.9	59.3	66.9	72.6	82.0	96.3
2000	21.0	25.0	25.0	25.1	24.9	25.2	30.6	45.0	50.7	50.7	58.8
2001	24.0	27.0	27.0	34.0	28.5	38.3	38.3	41.9	48.2	65.0	92.4
2002	24.0	30.0	44.0	56.0	49.2	70.1	77.2	77.2	80.5	99.6	106.6
2003	21.0	21.0	21.0	23.0	21.2	37.3	40.0	43.4	44.0	50.7	66.8
2004	28.0	35.0	45.0	47.0	46.6	55.7	57.3	66.7	66.7	78.6	92.0
2005	20.0	28.0	39.0	39.0	28.5	40.3	40.6	61.3	74.7	90.0	111.6
2006	22.0	32.0	33.0	34.0	27.7	35.5	41.8	51.6	61.3	66.2	91.5
2007	22.0	23.0	23.0	23.0	22.6	32.4	42.5	47.1	47.5	49.6	79.0
2008	19.9	28.0	32.0	34.0	34.0	38.8	38.8	39.3	46.7	49.9	62.5
2009	17.0	17.0	22.6	23.0	18.7	26.8	27.0	72.7	73.5	75.1	68.1
2010	23.0	37.0	48.0	58.4	53.5	69.5	69.6	70.2	99.0	99.7	102.7

Postup při kontrole dat:

a) kontrola n-hodinových extrémů. U dat ze zpráv SYNOP, které určují maxima srážek za určitý časový úsek by nemělo dojít k chybě, kdy v intervalu kratším by naměřená hodnota byla vyšší než u intervalu delšího pro ten samý rok. Tento případ nenastal ani v jednom případě.

b) kontrola n-denních extrémů. Ani u dat získaných klasickou metodou by maxima srážek v intervalu kratším neměla být vyšší než u intervalu delšího pro ten samý rok.

c) porovnávání 24hodinových a 1denních extrémů. Od roku 1982 máme možnost srovnávat dva na první pohled stejné druhy dat, klasickou metodou naměřené údaje s těmi odvozenými synoptickými. Zde narážíme v nejvyšší míře na již dříve zmíněný problém, kdy měření klasické striktně dodržuje interval měření od 7. hodiny ranní jednoho dne do 7. hodiny dne následujícího, což ve srovnání s klouzavým intervalem u synoptických dat vede k mnoha rozdílným výsledkům. Těžko lze určit hranice, kdy už data by si neodpovídala, spíš je potřeba si data ověřit z dalších zdrojů. Typickým případem může být rok 2010 v případě hydrometeorologické stanice v Libereci, kdy 1denní extrém činil 98.9 mm srážek (což je druhý nejvyšší naměřený údaj na této stanici). Hodnota 24hodinového maxima je však ještě o dost vyšší a činí 151 mm srážek. Tento rozdíl lze zdůvodnit výjimečnou situací na území Libereckého kraje začátkem srpna, kdy tuto oblast postihla povodeň. Podle "Společné polsko-německo-české zprávy k povodním ze 7. až 10. srpna 2010 na Lužické Nise" vydatné srážky v severních Čechách trvaly od rána 6. srpna až do večera 7. srpna (přibližně 30 až 36 hodin) a poté následovaly méně intenzivní přehánky, které se vyskytovaly až do 8. srpna. Nejvyšší intenzity srážek byly zaznamenány v době od půlnoci do brzkého rána a pak během dopoledních hodin dne 7. srpna. V dopoledních hodinách zesílila intenzita srážek v důsledku

konvekčního proudění vyvolaného stoupáním vzduchu na návětrné straně Jizerských a Lužických hor. Intenzita srážek dosahovala hodnot až 60 mm/hod. [17]

Za chybu můžeme také počítat, pokud data měřená na klouzavém intervalu za 24 hodin budou nižší než na pevně měřeném jednodenním. Tento jev nastal v 8 případech (na stanici v Liberci v letech 1988 a 2000, na Lysé hoře v roce 2004 a v Praze-Ruzyni v letech 1984, 1988, 1990, 1992 a 1998). Ve všech případech se jednalo pouze o chyby v řádech desetin milimetrů a u velice malých extrémních srážek.

## **7 Výpočty odhadů rozdělení srážkových extrémů**

Pro výpočet odhadů bylo použito zkontrolovaných dat ze tří hydrometeorologických stanic a softwarového programu R s příslušnými balíčky (packages). Samostatný postup lze shrnout do několika kroků:

a) úprava souboru s daty. Data v souboru byla uspořádána v tabulce (viz tabulka 1-3), kde u n-hodinových maximálních srážek začínají až rokem 1982. Prázdná pole mezi lety 1961 a 1982 by statistický program nemohl zpracovat, proto musel být soubor nejdříve rozdělen na dva (první s n-hodinovými maximy pro roky 1982-2010 a druhý s n-denními maximy pro roky 1961-2010). Následující procesy se již musely proto dělat u všech stanic u obou nově vzniklých souborů.

b) vložení souboru do programu R. Pro vkládání souboru bylo použito funkce `scan`. Jelikož první řádek tabulky obsahoval popisek dat,



museli jsme vkládat data bez něj. Příkaz měl tudíž tuto podobu:  
`scan(file="název_souboru", skip=1).`

c) vizuální úprava dat. Data po vložení ovšem nebyla uspořádána do tabulky, jako tomu bylo v původním souboru. Pro převedení dat do přehledné matice bylo využito funkce `matrix` pro tvorbu matic, konkrétně: `matrix(scan(file="nazev_souboru", skip=1), byrow=T, ncol=6)`. Kde `byrow` určuje tvar matice a `ncol` počet sloupců (pro n-hodinové extrémy měl hodnotu 5 a pro n-denní extrémy 8).

d) pojmenování matic. Pro přehlednější práci s daty byly vždy matice pojmenovány podle jednoduchého vzoru: první tři písmena z názvu stanice (tedy: LIB, LYS a PRA) a určení druhu souboru (K pro data získaná klasickou metodou, což jsou data n-denních extrémů, nebo S pro data ze zpráv SYNOP, což jsou data n-hodinových extrémů). Název souboru má tedy například podobu LIBK.

e) odhad extrémů L-momentovou metodou. Nejprve bylo nutné přidat do programu balíček `LMOM`, díky němuž můžeme naše data jednoduše vkládat do již předpřipraveného vzorce, který byl již dříve popsán. Poté je postup následovný (na příkladu souboru LIBK a hodnot pro 1-denní extrémy, což je v tabulce 2. sloupec):

```
lmom <- samlmu (LIBK [,2])
```

```
pelgev (lmom) .
```

Poté nám program sám určí hledané parametry polohy, tvaru a měřítka. Tento postup byl opakován pro všechny n-hodinové i n-denní extrémy všech stanic.

f) odhad extrémů metodou maximální věrohodnosti. Pro tuto metodu

přidáváme balíček *ISMEV*. A postupujeme podobně jako u první metody. Na stejném příkladu jako u první metody má funkce tento tvar:

*gev.fit(LIBK[,2])* .

I v tomto případě lze z výpočtu vyčíst hodnoty parametrů.

Tab. 4: Vypočítané parametry a kvantily L-momentovou metodou, stanice Liberec

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	24,54	31,56	35,70	38,01
měřítka	9,54	11,51	13,82	16,10
tvaru	0,00	0,20	0,28	0,28
perioda opak.				
5 let	46,82	65,79	81,39	90,89
10	53,98	80,65	103,75	116,58
20	60,85	97,16	130,15	146,80
50	69,75	122,39	173,36	196,05
100	76,42	144,62	214,08	242,28
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	33,38	43,93	50,07	61,63
měřítka	12,00	17,01	18,23	21,84
tvaru	0,22	0,21	0,23	0,16
perioda opak.				
5 let	69,89	95,34	106,36	123,04
10	86,17	118,07	131,88	148,00
20	104,49	143,55	160,87	174,84
50	132,92	182,90	206,26	214,34
100	158,34	217,93	247,25	247,91
parametry	7D	10D	15D	
polohy	55,18	65,38	79,73	
měřítka	12,98	16,80	19,34	
tvaru	0,31	0,16	0,06	
perioda opak.				
5 let	99,91	112,91	121,64	
10	122,82	132,36	133,83	
20	150,51	153,34	144,99	
50	197,07	184,34	158,68	
100	242,10	210,78	168,41	

Tab. 5: Vypočítané parametry a kvantily metodou maximální věrohodnosti, stanice Liberec

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	24,59	31,18	34,80	37,03
měřítka	8,88	10,39	12,08	13,94
tvaru	0,03	0,32	0,47	0,47
perioda opak.				
5 let	46,11	67,08	86,26	96,11
10	53,38	85,51	119,04	133,56
20	60,52	107,81	163,53	184,23
50	70,02	145,36	248,87	281,13
100	77,32	181,71	342,53	387,15
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	33,38	43,92	49,08	60,69
měřítka	11,65	16,49	16,29	19,63
tvaru	0,25	0,25	0,38	0,28
perioda opak.				
5 let	70,24	95,85	110,08	125,21
10	87,41	119,92	144,21	156,58
20	107,18	147,56	187,42	193,49
50	138,64	191,41	263,99	253,68
100	167,47	231,49	341,89	310,19
parametry	7D	10D	15D	
polohy	69,08	82,90	98,89	
měřítka	22,34	25,62	29,80	
tvaru	0,23	0,14	0,12	
perioda opak.				
5 let	138,10	154,03	178,73	
10	169,32	182,51	209,32	
20	204,76	212,89	241,26	
50	260,22	257,23	286,74	
100	310,26	294,61	324,18	

Tab. 6: Vypočítané parametry a kvantily L-momentovou metodou, stanice Lysá hora

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	35,66	54,25	63,98	73,73
měřítka	11,80	20,25	26,15	31,94
tvaru	0,15	0,09	0,13	0,11
perioda opak.				
5 let	68,45	106,88	135,38	158,73
10	81,59	126,30	163,40	191,04
20	95,62	146,21	192,99	224,64
50	116,11	173,98	235,70	272,28
100	133,39	196,38	271,31	311,32
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	62,93	88,52	99,22	117,50
měřítka	24,15	38,57	43,57	49,10
tvaru	0,23	0,27	0,33	0,30
perioda opak.				
5 let	137,34	213,86	251,56	283,54
10	170,97	274,04	330,80	366,84
20	209,11	344,40	427,35	466,48
50	268,74	458,31	591,17	631,96
100	322,50	564,51	750,98	790,13
parametry	7D	10D	15D	
polohy	133,54	154,69	183,65	
měřítka	53,84	57,72	58,64	
tvaru	0,26	0,26	0,27	
perioda opak.				
5 let	306,05	338,80	374,86	
10	387,60	425,37	467,00	
20	482,18	525,54	574,94	
50	633,91	685,74	750,06	
100	774,15	833,37	913,68	

Tab. 7: Vypočítané parametry a kvantily metodou maximální věrohodnosti, stanice Lysá hora

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	35,97	55,10	64,48	74,03
měřítka	11,73	20,55	25,40	30,68
tvaru	0,13	0,04	0,14	0,13
perioda opak.				
5 let	67,98	105,65	134,29	157,69
10	80,53	123,06	161,90	190,45
20	93,78	140,31	191,18	225,03
50	112,88	163,49	233,61	274,88
100	128,80	181,50	269,15	316,40
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	63,09	86,45	95,27	110,20
měřítka	23,60	34,41	36,71	37,91
tvaru	0,25	0,42	0,57	0,68
perioda opak.				
5 let	137,80	222,97	274,24	326,27
10	172,62	303,98	403,97	506,54
20	212,74	409,79	592,95	790,85
50	276,57	604,10	986,19	1439,10
100	335,12	808,65	1452,42	2276,83
parametry	7D	10D	15D	
polohy	128,37	149,00	179,85	
měřítka	45,16	47,75	51,37	
tvaru	0,50	0,51	0,45	
perioda opak.				
5 let	328,48	362,72	391,68	
10	460,97	505,57	522,37	
20	644,58	704,56	696,68	
50	1005,38	1097,91	1024,54	
100	1410,51	1542,10	1377,62	

Tab. 8: Vypočítané parametry a kvantily L-momentovou metodou, stanice Praha-Ruzyně

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	20,61	25,41	29,23	31,82
měřítka	5,70	7,44	9,77	11,16
tvaru	0,30	0,20	0,08	0,03
perioda opak.				
5 let	39,97	47,63	54,23	58,71
10	49,73	57,33	63,28	67,73
20	61,44	68,13	72,47	76,55
50	80,93	84,68	85,15	88,23
100	99,62	99,31	95,27	97,18
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	29,18	36,89	40,87	48,39
měřítka	10,64	11,72	10,92	11,88
tvaru	0,11	0,15	0,27	0,26
perioda opak.				
5 let	57,38	69,63	76,60	86,76
10	68,05	82,83	93,89	105,05
20	79,11	96,97	114,17	126,36
50	94,75	117,69	147,15	160,71
100	107,53	135,23	178,02	192,61
parametry	7D	10D	15D	
polohy	55,68	65,54	79,43	
měřítka	14,09	17,56	19,09	
tvaru	0,22	0,12	0,08	
perioda opak.				
5 let	98,50	113,01	128,65	
10	117,56	131,40	146,63	
20	139,00	150,72	164,98	
50	172,21	178,40	190,36	
100	201,89	201,33	210,86	

Tab. 9: Vypočítané parametry a kvantily metodou maximální věrohodnosti, stanice Praha-Ruzyně

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	20,83	25,42	28,36	31,65
měřítka	5,96	7,07	8,13	10,32
tvaru	0,27	0,25	0,30	0,09
perioda opak.				
5 let	40,23	47,80	55,93	58,44
10	49,57	58,23	69,82	68,30
20	60,50	70,25	86,45	78,39
50	78,21	89,38	114,15	92,46
100	94,75	106,93	140,68	103,80
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	28,67	36,76	41,11	48,22
měřítka	9,52	11,17	11,23	11,25
tvaru	0,23	0,19	0,25	0,32
perioda opak.				
5 let	58,14	69,77	76,86	87,50
10	71,53	83,99	93,62	107,89
20	86,77	99,73	113,00	132,72
50	110,66	123,67	143,94	174,81
100	132,27	144,68	172,42	215,82
parametry	7D	10D	15D	
polohy	55,18	65,38	79,73	
měřítka	12,98	16,80	19,34	
tvaru	0,31	0,16	0,06	
perioda opak.				
5 let	99,91	112,91	121,64	
10	122,82	132,36	133,83	
20	150,51	153,34	144,99	
50	197,07	184,34	158,68	
100	242,10	210,78	168,41	

## 7.1 Interpretace výsledků

Možností, jak výsledky interpretovat, je několik. Já jsem zvolil pro přehlednost formu tabulky u dat všech tří stanic. Při odhadu rozdělení extrémálních hodnot nás zajímají parametry a z nich především parametr tvaru, který má největší vliv na rozdíly při výpočtech vysokých kvantilů.

Tab.10: Odhady parametrů pro stanici Liberec, L-momentová metoda, *pozn:*  $nH$  –  $n$ -hodinový úhrn srážek (například 6H – šestihodinový),  $nD$  –  $n$ -denní úhrn srážek

parametry:	6H	12H	18H	24H
polohy	24,54	31,56	35,70	38,01
měřítka	9,54	11,51	13,82	16,10
tvaru	0,00	0,20	0,28	0,28
	1D	2D	3D	5D
polohy	33,38	43,93	50,07	61,63
měřítka	12,00	17,01	18,23	21,84
tvaru	0,22	0,21	0,23	0,16
	7D	10D	15D	
polohy	69,17	82,24	97,97	
měřítka	23,15	25,05	28,95	
tvaru	0,19	0,18	0,16	

Tab. 11: Odhady parametrů pro stanici Liberec, Metoda maximální věrohodnosti

parametry:	6H	12H	18H	24H
polohy	24,59	31,18	34,97	37,03
měřítka	8,88	10,39	12,08	13,94
tvaru	0,03	0,32	0,47	0,47
	1D	2D	3D	5D
polohy	33,38	43,92	49,08	60,69
měřítka	11,65	16,49	16,29	19,63
tvaru	0,25	0,25	0,38	0,28
	7D	10D	15D	
polohy	69,08	82,90	98,89	
měřítka	22,34	25,62	29,80	
tvaru	0,23	0,14	0,12	



Jako příklad jsou uvedeny tabulky s parametry pro stanici Liberec, kde jsou ve sloupcích seřazeny hodnoty parametrů pro jednotlivé časové úseky. Z nich lze vyčíst, že hodnoty se u obou metod liší velice málo. Největší vliv na hodnoty vysokých kvantilů má vliv parametr tvaru. Jakým způsobem, je demonstrováno níže. Nejprve vysoké kvantily pro stanici Liberec, opět pro obě metody:

Tab. 12: Vysoké kvantily pro stanici Liberec, L-momentová metoda

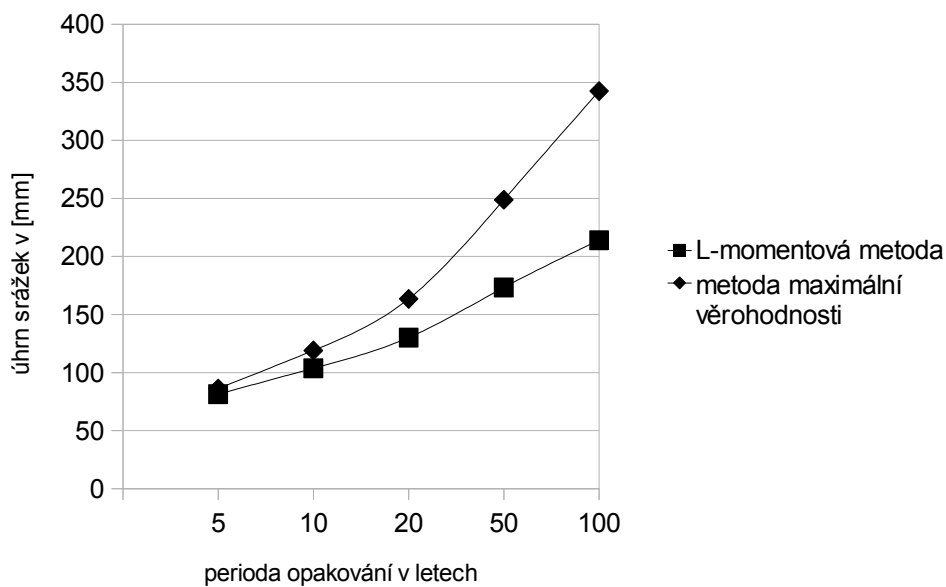
perioda opakování	6H	12H	18H	24H
5 let	46,82	65,79	81,39	90,89
10	53,98	80,65	103,75	116,58
20	60,85	97,16	130,15	146,80
50	69,75	122,39	173,36	196,05
100	76,42	144,62	214,08	242,28
	1D	2D	3D	5D
5 let	69,89	95,34	106,36	123,04
10	86,17	118,07	131,88	148,00
20	104,49	143,55	160,87	174,84
50	132,92	182,90	206,26	214,34
100	158,34	217,93	247,25	247,91
	7D	10D	15D	
5 let	137,26	154,54	179,54	
10	166,44	184,85	212,77	
20	198,65	217,93	248,53	
50	247,50	267,48	301,24	
100	290,26	310,32	346,09	

Tab. 13: Vysoké kvantily pro stanici Liberec, Metoda maximální věrohodnosti

perioda opakování	6H	12H	18H	24H
5 let	46,11	67,08	86,26	96,11
10	53,38	85,51	119,04	133,56
20	60,52	107,81	163,53	184,23
50	70,02	145,36	248,87	281,13
100	77,32	181,71	342,53	387,15
	1D	2D	3D	5D
5 let	70,24	95,85	110,08	125,21
10	87,41	119,92	144,21	156,58
20	107,18	147,56	187,42	193,49
50	138,64	191,41	263,99	253,68
100	167,47	231,49	341,89	310,19
	7D	10D	15D	
5 let	138,10	154,03	178,73	
10	169,32	182,51	209,32	
20	204,76	212,89	241,26	
50	260,22	257,23	286,74	
100	310,26	294,61	324,18	

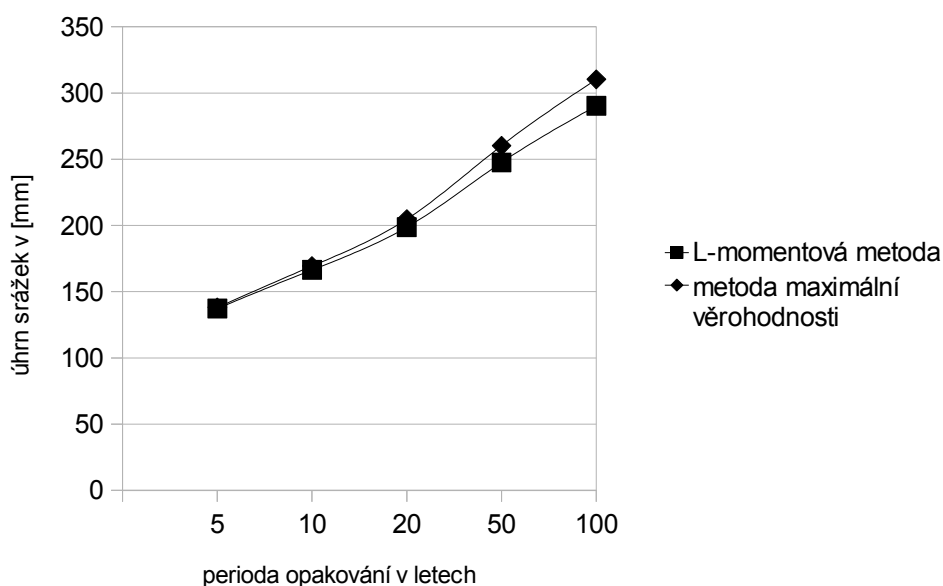
Pro příklad vlivu velikosti parametru tvaru na množství extrémního úhrnu srážek jsem vybral časový interval osmnáct hodin (v tabulkách výše nadepsaný 18H, jedná se o data ze zpráv SYNOP), kde u metody maximální věrohodnosti má parametr tvaru velikost 0,47 a u metody L-momentů pouze 0,28. Pokud naměřené úhrny zaneseme do grafu, vidíme, že u vyšších kvantilů mají úhrny počítané pomocí metody maximální věrohodnosti, u které je parametr tvaru značně vyšší, tendenci vyšších extrémních srážek.

Graf 1: Vliv velikosti parametru tvaru na množství úhrnů, Liberec, interval 18H.



Pro srovnání uvádím ještě graf úhrnů pro šestihodinový interval. V tomto případě jsou parametry tvaru téměř stejné a křivky se proto skoro vůbec neliší (L-momentová metoda má parametr tvaru bez zaokrouhlení 0,0000795217, metoda maximální věrohodnosti 0,03209879).

Graf 2: Vliv velikosti parametru tvaru na množství úhrnů, Liberec, interval 6H.



Další zajímavá vlastnost parametru tvaru, kterou bohužel nelze z vypočítaných dat dostatečně názorně interpretovat, se týká vlivu hodnoty parametru na tvar křivky. Pokud by byl parametr tvaru záporný, byla by křivka konvexní. Tento případ však v našem případě ani jednou nenastal. Pokud naopak dosahuje hodnota parametru tvaru kladných čísel, křivka má tvar konkávní.

Dále lze použít postup opačný a naměřeným hodnotám určit jejich kvantil. V následujících tabulkách jsou proto rekordní srážky pro danou stanici za určitý interval měření spolu s určením kvantilu, tedy hodnoty n-leté srážky. Například maximální hodnota naměřena v intervalu 2 dnů na stanici Liberec pochází z roku 2010 a má hodnotu 165,5 mm. V případě výpočtu L-momentovou metodou představuje tento úhrn takzvanou 34letou srážku a v případě metody maximální věrohodnosti téměř 30letou.

Tab. 14: Určení kvantilů u maximálních srážek, stanice Liberec

	6H	12H	18H	24H
maximální hodnota (rok)	54 (2010)	103 (2010)	136 (2010)	151 (2010)
L-momentová metoda	10	25,1	23	21,8
metoda max. věrohodnosti	10,6	17,4	13,4	13
	1D	2D	3D	5D
maximální hodnota (rok)	98,9 (2010)	165,5 (2010)	187,4 (2010)	187,9 (2010)
L-momentová metoda	16,3	34	34,4	27,4
metoda max. věrohodnosti	15,2	29,8	20	18,4
	7D	10D	15D	
maximální hodnota (rok)	223,1 (2010)	260,7 (2010)	297,4 (2010)	
L-momentová metoda	32,2	44,5	47	
metoda max. věrohodnosti	27,7	53,5	61,2	

Tab. 15: Určení kvantilů u maximálních srážek, stanice Lysá hora

	6H	12H	18H	24H
maximální hodnota (rok)	109 (1997)	162 (1997)	210 (1997)	234 (1997)
L-momentová metoda	36,8	40	29,1	24,1
metoda max. věrohodnosti	41,8	47,2	30,31	23,8
	1D	2D	3D	5D
maximální hodnota (rok)	233,8 (1997)	339 (1997)	509,7 (1997)	585,7 (1997)
L-momentová metoda	30	19	32,8	39,6
metoda max. věrohodnosti	27,7	12,9	15,2	12,5
	7D	10D	15D	
maximální hodnota (rok)	596 (1997)	638,1 (1997)	705,6 (1997)	
L-momentová metoda	40,5	38,9	40,4	
metoda max. věrohodnosti	17	16,3	20,6	

Tab. 16: Určení kvantilů u maximálních srážek, stanice Praha-Ruzyně

	6H	12H	18H	24H
maximální hodnota (rok)	64,5 (1983)	74,5 (1983)	74,5 (1983)	74,5 (1983)
L-momentová metoda	23,5	29	23,2	17
metoda max. věrohodnosti	25,1	25	12,3	15,4
	1D	2D	3D	5D
maximální hodnota (rok)	93,3 (1981)	121,6 (1981)	149,6 (1981)	158,5 (1981)
L-momentová metoda	46,1	58,7	53,1	47,4
metoda max. věrohodnosti	26,2	46,5	58	36,1
	7D	10D	15D	
maximální hodnota (rok)	179 (1981)	190,1 (1981)	213 (1981)	
L-momentová metoda	59,1	71,7	107,3	
metoda max. věrohodnosti	36,1	58,5	130,8	

## 7.2 Interpretace výsledků pro rok 2010 na stanici Liberec

Jak bylo již několikrát v práci zmíněno, z pohledu krátkodobých úhrnů srážek byl rok 2010 na stanici Liberec zcela výjimečný. Vydatné srážky, které od 6. srpna s malými přestávkami do 10. srpna dopadaly na území celého kraje, nejen že způsobily povodně, ale i pozměnily významnou měrou historické rekordy a hodnoty odhadů extrémních srážek. Data v následujících tabulkách jsou vypočítána již bez zmíněného, na rekordy srážkových extrémů bohatého, roku 2010.

Tab. 17: Hodnoty parametrů a vybraných kvantilů stanice Liberec pro data bez roku 2010 vypočítaných L-momentovou metodou

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	24,09	31,42	35,38	37,59
měřítka	9,02	11,02	13,05	15,15
tvaru	0,01	0,09	0,19	0,19
perioda opak.				
5 let	45,42	59,89	73,62	82,16
10	52,40	70,32	89,92	101,27
20	59,15	80,97	107,88	122,36
50	67,97	95,77	135,04	154,36
100	74,64	107,65	158,75	182,36
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	33,09	43,80	49,95	61,34
měřítka	11,53	16,55	17,73	21,17
tvaru	0,19	0,14	0,16	0,10
perioda opak.				
5 let	67,08	89,59	99,92	117,11
10	81,69	107,85	120,28	138,03
20	97,85	127,28	142,20	159,66
50	122,39	155,58	174,52	190,10
100	143,90	179,38	202,03	214,88
parametry	7D	10D	15D	
polohy	68,96	82,28	98,06	
měřítka	22,50	24,55	28,40	
tvaru	0,13	0,08	0,06	
perioda opak.				
5 let	129,96	145,65	169,44	
10	153,68	168,84	194,70	
20	178,63	192,52	220,06	
50	214,45	225,40	254,65	
100	244,17	251,80	281,92	

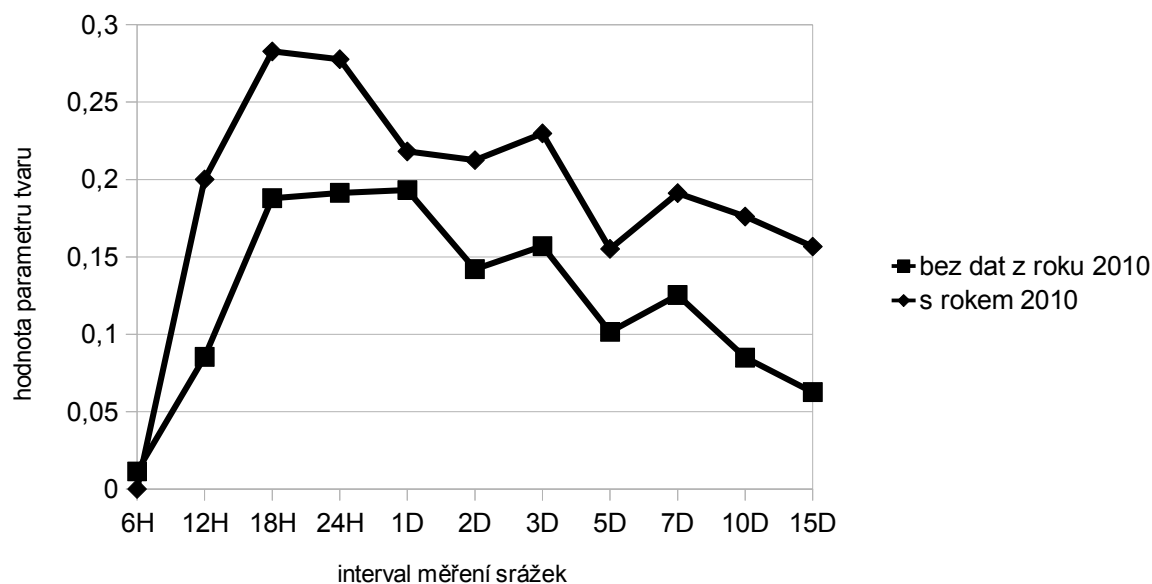
Tab. 18: Hodnoty parametrů a vybraných kvantilů stanice Liberec pro data bez roku 2010 vypočítaných metodou maximální věrohodnosti

parametry	6H	12H	18H	24H
polohy	24,19	31,11	34,67	36,74
měřítka	8,44	9,91	11,46	13,12
tvaru	0,01	0,19	0,35	0,36
perioda opak.				
5 let	44,12	60,10	75,86	85,03
10	50,62	72,45	97,93	111,56
20	56,90	86,04	125,22	144,83
50	65,10	106,57	172,34	203,14
100	71,30	124,48	219,09	261,83
parametry	1D	2D	3D	5D
polohy	33,12	43,76	49,03	60,50
měřítka	11,22	15,88	15,80	19,04
tvaru	0,22	0,18	0,30	0,22
perioda opak.				
5 let	67,15	89,62	102,19	118,34
10	82,24	108,86	128,71	144,06
20	99,21	129,87	160,33	173,00
50	125,45	161,35	212,66	217,81
100	148,87	188,58	262,52	257,85
parametry	7D	10D	15D	
polohy	68,86	82,75	98,71	
měřítka	21,54	24,59	28,57	
tvaru	0,16	0,07	0,04	
perioda opak.				
5 let	129,99	144,92	168,42	
10	155,09	167,09	192,17	
20	182,22	189,44	215,59	
50	222,39	220,03	246,86	
100	256,74	244,25	271,03	

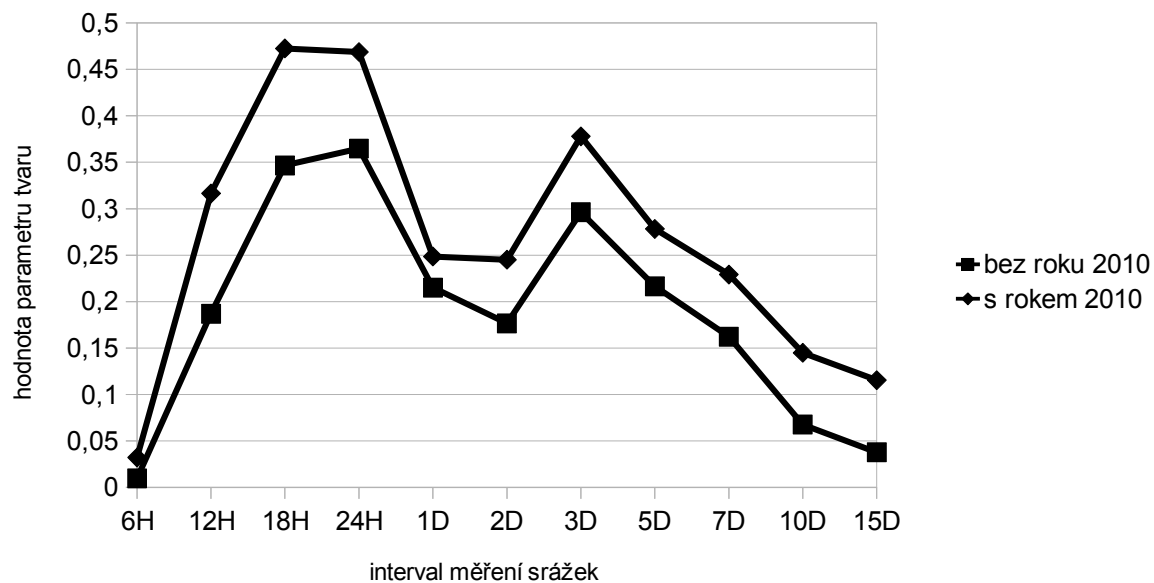


Nejprve je zajímavé sledovat rozdíly u parametrů, především u parametru tvaru. Při úplných datech je parametr tvaru vždy významně vyšší z důvodu přítomnosti extrémních dat z roku 2010. Tuto skutečnost názorně vyjadřují následující grafy.

Graf 3: Srovnání hodnot parametru tvaru pro data získaná L-momentovou metodou

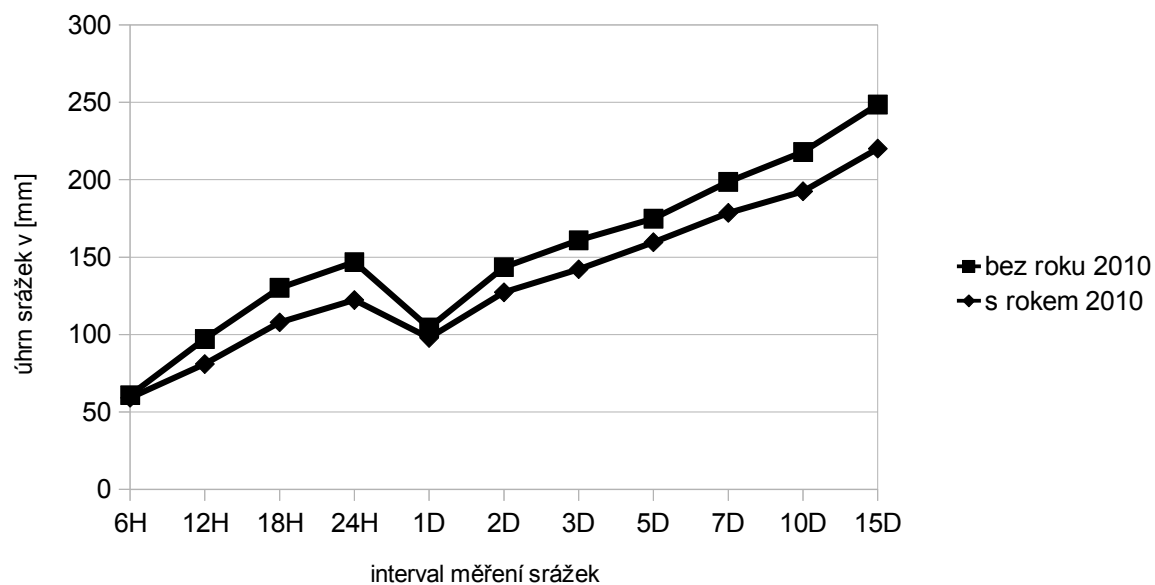


Graf 4: Srovnání hodnot parametru tvaru pro data získaná metodou maximální věrohodnosti

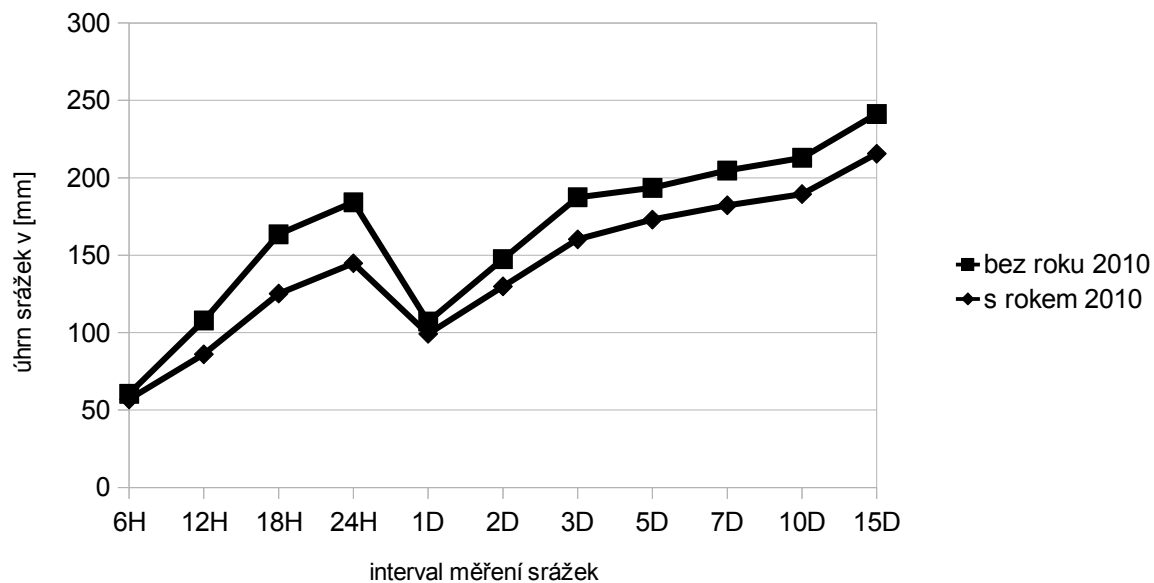


Oba grafy dokazují, jak jeden rok bohatý na extrémní srážky dokáže pozměnit dlouhodobé parametry.

Graf 5: Srovnání velikosti úhrnu srážek pro interval návratnosti 20 let pro data bez roku 2010 a s rokem 2010, metoda L-momentů



Graf 6: Srovnání velikosti úhrnu srážek pro interval návratnosti 20 let pro data bez roku 2010 a s rokem 2010, metoda maximální věrohodnosti.



### 7.3 Srovnání výsledků s dostupnou literaturou

Úkolem práce by měla být i kontrola výsledků na základě dostupné literatury. V tomto bodě se však nelze opřít o jakákoli data, neboť těmito způsoby nikdo nezpracovával krátkodobé úhrny na výše popsaných stanicích za námi zvolené období (1961 – 2010). V práci Jana Picka a Jana Dienstbiera *Vybrané problémy statistické analýzy extrémních hodnot* (citované pod číslem 18) jsou uvedeny pouze příklady vypočítané L-momentovou metodou na několika málo vybraných stanicích a pro kontrolu jsou tedy nevhodné. V další práci *Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic* od autorů Jana Picka a Jana Kyselého z roku 2007 jsou stanice sjednoceny do regionů (1 až 3), pro které jsou pak provedeny analýzy. Stanice Liberec a Praha-Ruzyně byly zařazeny do stejného regionu 1. Data ze stanice na Lysé hoře se příliš lišila od ostatních, a proto byly vyjmuty a stanice nezařazena do žádného z regionů. V práci je nadále porovnáván parametr tvaru pro všechny regiony na intervalu jednodenním, tří denním, pět denním a sedmidenním.

Porovnání výsledků interpretovaných v citované práci pro region 1 (tedy stanice Liberec a Praha-Ruzyně dohromady) s výsledky dosaženými na základě výpočtů v této bakalářské práci pro dvě výše zmíněné stanice zvlášť probíhalo na 95 % intervalu spolehlivosti. I tak se velikost parametru tvaru v mnoha případech liší. Důvodem může být kratší doba měření, a tudíž absence dat ze srážkově extrémního roku 2010. Kladem však je, že u všech výsledků vypočítaných v této bakalářské práci vycházejí u parametru tvaru těžké chvosty, což je ve shodě s dřívějšími pracemi, které se zabývaly úhrny denními a delšími. Jiné adekvátní zdroje pro porovnání bohužel nejsou k dispozici.

## **8 Závěr**

S využitím dat naměřených na vybraných třech hydrometeorologických stanicích se povedlo určit všechny potřebné parametry extrémního rozdělení u obou metod odhadu. Na základě těchto parametrů byly poté určeny vysoké kvantily. Na příkladech uvedených při interpretaci výpočtů bylo představeno, jak s těmito daty dále zacházet a jak se dají využít v praxi. Rozdíly mezi oběma metodami byly zdůvodněny a graficky znázorněny. Dále jako kontrola správnosti výsledků posloužila kapitola popisující fyzicko-geografickou charakteristiku území České republiky. Odchytky mezi jednotlivými extrémy naměřenými na třech různých stanicích byly způsobeny především kombinací rozdílných přírodních poměrů, jež mají na podnebí hlavní vliv. Velikost parametru tvaru extrémního rozdělení byla určujícím faktorem hodnot vysokých kvantilů. K potvrzení správnosti vypočítaných dat tedy posloužila také nastudovaná literatura, v níž byl tento problém řešen. K bližší interpretaci byla poté použita data ze stanice v Liberci, která posloužila k podrobnějšímu seznámení s výpočty kvantilů. Díky extrémním srážkám, jež dopadly na území celého Libereckého kraje v srpnu roku 2010, mohl být prokázán vliv jednoho srážkově výjimečného roku na výpočet vysokých kvantilů pro stanici Liberec.

## **Seznam použitých zdrojů**

- [1] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. preprint. Praha: Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, 2002.
- [2] CYHELSKÝ, Lubomír a Eduard SOUČEK. *Základy statistiky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, 2009. EUPRESS. ISBN 978-80-7408-013-5.
- [3] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: EAST PUBLISHING, 1998. ISBN 80-200-1254-0.
- [4] EGERMAYER, František a Milan BOHÁČ. *Statistika pro techniky*. Praha: SNTL, 1984. ISBN 04-313-84
- [5] CYHELSKÝ, Lubomír, Jana KAHOUNOVÁ a Richard HINDLS. *Elementární statistická analýza*. 2. Praha: Management Press, 20017. ISBN 80-7261-003-1.
- [6] COLES, Stuart. *An Introduction to Statistical Modeling of Exterme Values*. 3rd. London, Great Britain: Springer-Verlag, 2004. ISBN 1-85233-459-2.
- [7] Rozloha. In: *Český statistický úřad: statistiky* [online]. 2003 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/rozloha\\_eupr](http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/rozloha_eupr)
- [8] *Školní atlas Česká Republika a Evropa*. Vizovice: SHOCart, spol. s.r.o., 2008. ISBN 80-7224-247-4
- [9] *Atlas podnebí Česka* [CD]. 2007. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav : Univerzita Palackého v Olomouci, 2007[cit. 2012-02-03]
- [10] Wladimir Koppen. In: RUMNEY, George Richard. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica Inc., 2012 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/322065/Wladimir-Koppen>

- [11] Precipitation. In *American Meteorological Society Glossary of Meteorology* [online]. 2012 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=precipitation1>
- [12] KAKOS, V. Hydrometeorologická charakteristika povodní na území ČSR. *VTEI*. 1978(20. 4. 1978).
- [13] HEBELKOVÁ, Libuše. EXTRÉMĚ SUCHÝ LISTOPAD 2011. In: *Meteopress* [online]. 5.12.2011 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.meteopress.cz/extreme-suchy-listopad-2011/>
- [14] BRÁZDIL, R. Stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*. 1978, **roč. 83** (č. 2)
- [15] BUMERL, Milan. *Hydrologie: učební text pro studenty 3. ročníku SOŠ OTŽP Veselí nad Lužnicí*. Veselí nad lužnicí, 2003.
- [16] KRŠKA, Karel. HISTORIE HYDROMETEOROLOGICKÉ SLUŽBY NA ÚZEMÍ NĚKDEJŠÍHO ČESKOSLOVENSKA. *METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY*. 1999, **roč. 52** (č. 6)
- [17] Společná polsko-německo-česká zpráva k povodni ze 7. až 10. srpna 2010 na Lužické Nise jako součást předběžného zhodnocení rizika podle článku 4 Směrnice o zvládání povodňového rizika. In: *Společná polsko-německo-česká zpráva k povodním ze 7. až 10. srpna 2010 na Lužické Nise jako součást předběžného zhodnocení rizika podle článku 4 Směrnice o zvládání povodňového rizika* [pdf]. 2010 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/ohp/report\\_cz.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/ohp/report_cz.pdf)
- [18] PICEK, J. a J. DIENSTBIER. Vybrané problémy statistické analýzy extrémních hodnot. *Sborník celostátního semináře Analýza dat*. 2008, **roč. 2007**, č. 2